

## **ЛАБОРАТОРНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ СТЕНД**

**Адаменко В. О., ст. викл., Шеленгівський О. І., магістрант**

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Оновлення матеріально-технічної бази навчальних закладів є надзвичайно важливим етапом в становленні сучасної вищої освіти. Виклики сьогодення потребують кардинально нових підходів до проведення лабораторних та практичних занять. Сучасний інженер повинен вільно володіти методами цифрової обробки даних, вміти поєднувати вимірювальні та виконавчі механізми з комп'ютером через традиційні інтерфейси та програмувати мікроконтролери. Для підвищення рівня практичної підготовки студентів за даними напрямками вирішено створити лабораторний вимірювальний стенд, який дозволить разом з вивченням елементної бази отримувати практичні навички в програмуванні та цифровому обробленні даних.

Класичною задачею при вивченні студентами елементної бази є знімання їх вольт-амперних характеристик, тому як приклад для перевірки працездатності вимірювального стенду використано стабілітрон. Відповідно лабораторний стенд повинен забезпечити регулювання напруги в широких межах, вимірювання напруги та струму, проведення попередніх розрахунків та передавання даних на комп'ютер.

В якості базового елемента лабораторного стенду обрано плату Arduino UNO [1], критеріями вибору були: висока популярність даної платформи серед школярів та студентів, зручність програмування та низький рівень входження в програмування, а також наявність даних плат в навчальному процесі. До недоліків даного рішення можна віднести низьку опорну напругу АЦП, відсутність ЦАП та відсутність механізму збереження переданих на комп'ютер даних до файлу (Arduino IDE цього не передбачає).

Враховуючи, що максимальна опорна напруга АЦП складає 5 В, то для проведення вимірювань в більш широкому діапазоні необхідно використовувати зовнішні дільники напруги. Абсолютна похибка вимірювання напруги 10 розрядним АЦП складає 2 молодших значущих розряди (МЗР, англ. *Least significant bit*), що при опорній напрузі в 5 В складає приблизно 9,8 мВ. Регулювання напруги можна виконати за допомогою вбудованого широтно-імпульсного модулятора, який працює з частотою 490 Гц та може регулювати напругу в діапазоні від 0 до 5 В.

Використання ШІМ у вимірювальних схемах потребує значного згладжування імпульсної напруги, адже АЦП вимірює миттєве значення напруги, тому в схемі доцільно використати RC-ланку. Проте безпосередньо навантажувати вихід RC-ланки на стабілітрон не можна, адже при цьому струм навантаження порівняно великий і, відповідно, отримаємо значні пульсації випрямленої напруги. Типовим способом уникнення даної проблеми є використання операційного підсилювача, який разом із RC-ланкою

утворює перетворювач ШІМ на напругу, в [2] рекомендовано частоту зрізу даної ланки обирати на рівні 1,2 Гц. Також використання операційного підсилювача з коефіцієнтом підсилення більшим за одиницю дозволяє отримати більш широкий діапазон зміни напруги за допомогою ШІМ. Точність встановлення напруги за допомогою ШІМ становить приблизно 20 мВ. На рис. 1 зображено схему вимірювального стенду, напруга живлення операційного підсилювача 12 В. Резистори  $R4 - R8$  повинні мати допуск не більше 1%, при цьому похибка вимірювання напруги буде близько  $\pm 5$  мВ.

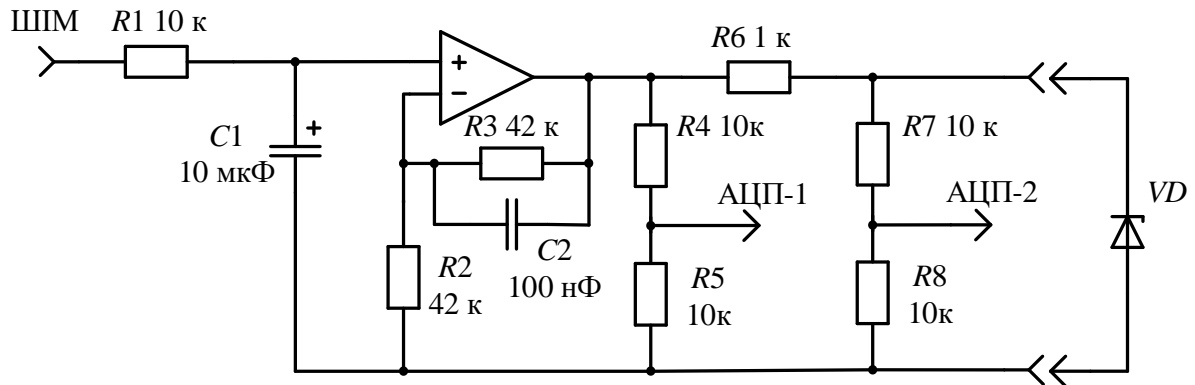


Рисунок 1. Схема вимірювального стенду

Алгоритм проведення вимірювання простий: мікроконтролер змінює напругу за допомогою ШІМ від 0 до 5 В з кроком 20 мВ кожні 10 мс, операційний підсилювач розширює діапазон зміни від 0 до 10 В, при цьому точність встановлення напруги знижується в два рази до 40 мВ, разом з тим за допомогою АЦП знімається напруга на вході ланки  $R6$ ,  $VD$  та безпосередньо на стабілітроні  $VD$ . Отримані значення з АЦП передаються через USB на комп'ютер. Далі проводиться розрахунок струму в ланці  $R6$ ,  $VD$ , струмами на ділниках  $R4$ ,  $R5$  та  $R7$ ,  $R8$  можна знехтувати (при використанні номіналів опорів 10 кОм струм в них складає не більше 0,5 мА, що значно нижче чутливості вимірювача).

Експериментальні дослідження показали, що при використанні вказаних номіналів пульсації напруги на виході операційного підсилювача складають близько 10 мВ, для усунення впливу даних пульсацій на точність вимірювання доцільно проводити декілька десятків вимірювань при одному значенні напруги ШІМ та брати середнє значення.

Враховуючи, що точність встановлення напруги на виході операційного підсилювача складає 40 мВ виміряні значення напруги варто округлити до сотих.

Передані на комп'ютер дані можна оброблювати за допомогою стороннього програмного забезпечення, яке є в навчальному процесі, наприклад, LabView чи MatLAB. В якості прикладу оброблення даних реалізовано за допомогою програми в MatLAB, на рис. 2 показано зворотну та пряму вітку ВАХ стабілітрона з напругою стабілізації 3,3 В.

За результатами роботи можна зробити наступні висновки:

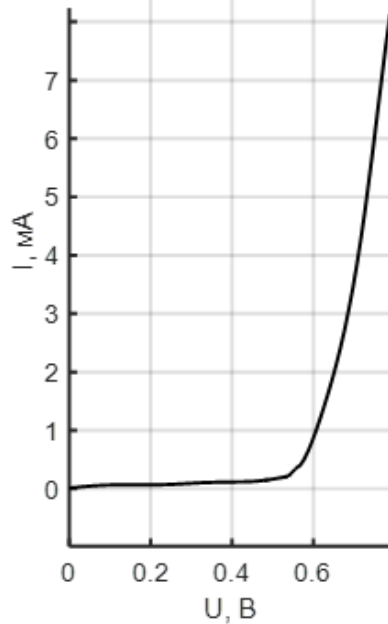
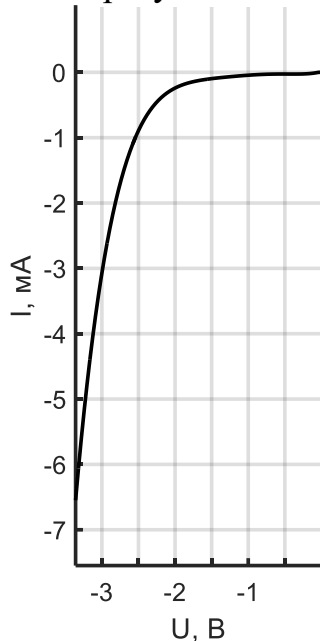


Рисунок 2. Зворотна та пряма вітка ВАХ стабілітрона

– використання плати Arduino доцільно виключно в навчальному процесі, адже використання ШІМ під час вимірювань доцільно виключно у випадку відсутності високих вимог до точності вимірювань; використання вбудованого АЦП потребує застосування зовнішнього дільника напруги на резисторах з допуском не більше 1%.

– проведення лабораторних робіт з використанням

подібних стендів за умови наявності додаткового обладнання (осцилографу) дозволить студентам поряд з безпосереднім дослідженням елементної бази отримувати додатковий досвід щодо особливостей роботи з цифровими схемами та покращити навички в цифровому обробленні сигналів.

#### Перелік посилань

1. Arduino UNO — Режим доступу: <http://arduino.ua/ru/hardware/Uno> — Назва з екрану.
2. Thoren M. Ch. Accurate, Fast Settling Analog Voltages from Digital PWM / M. Thoren, Ch. Steward — Design Note 538, 2015 — Режим доступу: <http://cds.linear.com/docs/en/design-note/dn538f.pdf>.

#### Анотація

Розроблено лабораторний вимірювальний стенд для отримання вольт-амперних характеристик стабілітронів. Проведено аналіз точності вимірювань за допомогою даного стенду. Проаналізовано основні переваги та недоліки використання плати Arduino в якості основи для вимірювального стенду.

**Ключові слова:** Arduino, ВАХ, стабілітрон, вимірювання.

#### Аннотация

Разработан лабораторный измерительный стенд для снятия вольт-амперных характеристик стабилитронов. Проведен анализ точности измерений с помощью данного стенда. Проанализированы основные преимущества и недостатки использования платы Arduino в качестве основы для измерительного стенда.

**Ключевые слова:** Arduino, ВАХ, стабилитрон, измерения.

#### Abstract

The laboratory measuring stand for measuring of current-voltage characteristics of zener diodes. Analysis of measurement accuracy using this stand is made. The basic advantages and disadvantages of using Arduino board as the basis for measuring stand are analyzed.

**Keywords:** Arduino, CVC, zener diod, measurement.